# 2011 年東日本大震災による浦安地域の液状化被害調査報告 金 哲鎬<sup>\*1</sup>藤井 衛<sup>\*2</sup>小川 正宏<sup>\*3</sup>

## Survey Report of Liquefaction Damage of Urayasu Area by the Eastern Japan Great Earthquake in 2011

by

Cholho KIM<sup>\*1</sup>, Mamoru FUJII<sup>\*2</sup> and Masahiro OGAWA<sup>\*3</sup> (Received on Jun.3, 2011)

#### Abstract

The eastern Japan great earthquake struck from the northeast to the whole area of Kanto with a magnitude of 9.0, maximum seismic intensity 7 (Miyagi Prefecture Kurihara city) on March 11<sup>th</sup>, 2011. Seismic hazards such as tsunami and liquefaction have especially affected detached houses. Right now, in spite of announcement #1113 of the Ministry of Land, Infrastructure and Transportation which addresses the possibilities of Liquefaction, organized/systematic measure of Liquefaction has hardly been accomplished for detached houses. The authors aimed to investigate and analyze the damage by liquefaction in Urayasu, Chiba Prefecture, where much liquefaction damage has occurred.

Keywords: Earthquake, Liquefaction, Subsidence, Groundwater level, Detached Houses, Urayasu

## 1. はじめに

2011 年 3 月 11 日 14 時 46 分頃, マグニチュード 9.0, 最大震度 7(宮城県栗原市)の東北地方太平洋沖地震が発 生し,東北から関東に至る全域に甚大な被害をもたらし た。特に戸建住宅の被害が多く,地震や津波による直接 的な被害(倒壊,流失)を免れた地域でも,液状化現象に よる被害を受けた地域がある.戸建住宅の設計では,国 土交通省告示第 1113 号において,地震時に液状化するお それのある地盤の場合は,建築物に有害な変形や沈下が 生じないことを確かめることを義務づけている.しかし, 液状化の対策はほとんどされていないのが現状である. そこで筆者らは,液状化による被害の多かった千葉県浦 安地域に着目し,現地調査を行なったのでここに報告す る.

## 2. 浦安市の埋立ての歴史<sup>1)</sup>

浦安市は,総面積 4.43km<sup>2</sup>であったが,戦後から海面 埋立て事業が始まり,現在は総面積 16.98km<sup>2</sup>となってい る。浦安市の第 1 期埋立事業は,千葉県開発庁(現企業庁) が行った事業で,昭和 39 年に着工,昭和 50 年に完成し, 住宅用地・工業用地・レクリエーション用地の 3 つから 構成されていた。第 1 期埋立地と土地利用構想は図 1 の 通りである。第 2 期埋立事業は,昭和 47 年に着工し,昭 和 55 年に完成している。第 2 期埋立地と土地利用構想は 図 1 の通りである.このうち,日の出・明海地区につい ては,日本住宅公団(現都市基盤整備公団)が昭和 60 年に 土地区画整理事業認可を受けて住宅地開発を始めた. 昭和 63 年には県企業庁,市,住宅・都市整備公団(現都 市基盤整備)による「浦安 II 期地区街づくり懇談会」など が開催され,これらを踏まえ,平成7年に「浦安地区第 二期埋立地住宅地基本計画」が策定された.図1は第1 期,図2は第2期埋立地図で,各地の埋立年代を表1に 示す.



図1 第1期埋立地図



図 2 第 2 期埋立地図

<sup>\*1</sup> 総合理工学研究科総合理工学専攻

<sup>\*2</sup> 工学部建築学科教授 工博

<sup>\*3</sup> 報国エンジニアリング株式会社

坦	<b></b> 里立年	地区			
1968 年	(昭和 43 年)	東野, 富岡, 今川, 弁天, 鉄鋼団地			
1971 年	(昭和 46 年)	海楽, 美浜, 入船			
1975年	(昭和 50 年)	舞浜			
1978年	(昭和 53 年)	日の出,明海			
1979年	(昭和 54 年)	港,千鳥			
1980年	(昭和 55 年)	高洲			
1981 年	(昭和 56 年)	千鳥の一部			

表1 各地区の埋立年代

## 3. 概要

大地震によって起こる地盤の液状化による被害は、数多 く報告されている。1964年の新潟地震, 1995年の阪神淡路 大震災をはじめ、2000年の鳥取県西部地震、2004年の新潟 中越地震,2005年の福岡県西方沖地震,宮城県沖地震,2007 年の能登半島地震、新潟中越沖地震などで、液状化による 被害が報告されている。また、海外からも被害が報告され ており、今年2月のクライストチャーチ大地震では大規模 な液状化による被害が見られた. 今回の東日本大震災で起 こった液状化による被害は、青森県から神奈川県まで、震 度5強以上を観測した地域が広範囲に確認された。特に首 都圏湾岸地域で大規模な液状化が生じた.浦安市では、液 状化による被災者数:96,473 人(37,023 世帯), 液状化が発 生した面積:約14km<sup>2</sup>(浦安市面積の8割強),噴出砂量10~15 万m<sup>3</sup>と報告されている。約7万3000戸のうち、水道は約 3万3000世帯、下水は約1万1000世帯で使えなくなるな ど、ライフラインが大きな被害を受けた.応急復旧したの が4月15日であり,復旧まで1カ月以上もの期間を要した。 阪神大震災でも神戸港の埋立地を中心に大規模な液状化が 生じているが、 埋立地の液状化に対する危険性が改めて確 認された. 液状化した箇所が, 再び液状化する再液状化の 防止のために、今後の適切な対策が必要である. 浦安の埋 立地の地盤で、今後も起こり得る液状化現象について調査 を行い、今回液状化被害を受けた地域の現地を調査し、今 後の液状化の可能性の程度を把握するために、図3「浦安市 地域別液状化被害エリアマップ」としてとりまとめた.

## 4. 浦安市内の液状化被害状況

#### 4.1 道路及び歩道等の液状化被害

東日本大震災の翌日の3月12日と15日以後の3日間に わたり,噴砂が積もり砂埃が舞い上がる浦安地域の液状化 の被害を現地調査した。宮城県三陸沖で発生した地震によ り,浦安地域では震度5強の強い揺れが観測され,埋立地 全体で液状化が生じたように報じられていた.しかし,実 際はエリアによって被害状況に明らかに差があった.国道 357号から東京湾側の第1期,第2期埋立地の被害が特に 大きく,埋立地でない昔からの土地はほとんど液状化現象 は見られなかった.写真1~3は,液状化現象により道路や 歩道が崩壊,亀裂からあたり一面が噴砂で被われた状態, 写真4は浦安市日の出地区で歩道のマンホールが地上に突 出した状態である. 第1期埋立地および千鳥地区では液状化による沈下,噴砂が確認され,建物にも被害が見受けられた.新浦安駅前の入船,美浜地区は地表面の液状化の被害が大きく,港地区の液状化の被害は比較的少なかった.第2期埋立地の明海,日の出地区では内陸部に液状化の被害が多く見られたにも関わらず海側の高洲海浜公園,日の出地区内の浦安墓地公園での液状化の地表面に及ぼした被害は比較的少なかった。また,日の出地区の堤防付近では、写真5のように一部に液状化の影響によると考えられる陥没が見られた. 図3に液状化が地表面に影響を及ぼしたエリアを斜線部で示した.



写真1 歩道の亀裂から噴き出た泥で電柱が埋まった状態 (千鳥地区)



写真 2 道路の亀裂から泥が噴き出た状態 (千鳥地区)



写真3 堤防側の歩道に亀裂による段差 (今川地区)



写真4 歩道上に突出したマンホール (日の出地区)



写真 5 堤防付近の陥没 (日の出地区)



図3 浦安市地域別液状化被害エリアマップ (斜線部分は液状化が地表面に影響を及ぼしたエリア)

写真6に,富士見地区(左側)と東野地区(右側)の境界部で, の図4に断面図を示す.向かって右側が東野地区(埋立地) である.埋立地側の道路は,旧堤防天端高さに合わせて埋 立造成されている.計測した場所は、東海大学付属浦安高 校(右側)前で,中央の旧堤防との高低差は約80cmであ った.

液状化の程度の違いは明確で,東野地区(写真6,右側)の埋立地の歩道で液状化による噴砂が見られているにも関わらず,道路を挟んで向かい合っている,昔からの住宅地である富士見地区(写真6,左側)では,まったくと言っていいほど液状化の痕跡が見られなかった.



写真 6 中央が埋立地境界付近 (右側が東海大学付属浦安高等学校)



図4 埋立地境界部断面図(断面位置を図5に示す)



#### 図 5 埋立地境界部断面図位置

#### 4.2 建物の液状化被害

液状化による建物被害も道路や歩道と同じく,場所によって被害に差があった。東京湾側の埋立地,特に第1期埋 立地では,舞浜,東野,海楽,弁天,富岡,美浜のほとん どの宅地で液状化が発生していた.第2期埋立地の高洲, 明海,日の出地区の一部では液状化被害が確認できず,地 表面に及ぼした程度をみる限りでは,第2期埋立地より第 1期埋立地の被害が大きい印象だった.



写真 7 液状化による不同沈下が見られる交番 (富岡地区)



写真8 噴砂と沈下により傾いた工場外壁 (千鳥地区)

写真7に噴砂と沈下によりドアの一部が埋まっている富 岡交番,写真8に外壁が大きく傾いている千鳥地区の工場 の写真を示す.両写真とも,液状化による沈下と大量の噴 砂が確認できる。調査したエリアの宅地でも,同様に液状 化による沈下と大量の噴砂が見られた.

世界最大級のマグニチュード 9.0,最大震度 7,浦安地 域においては震度5強という規模の大地震にもかかわら ず. 地震力による浦安地域の建物の損傷は、液状化の被 害程度に比べ小さい印象を受けた、建築物に大きな被害 を与えるとされる、周期 1~2 秒の地震波があまり強くな かったことが、地震波の分析により判明したという報告 がある. 震度7を記録した宮城県栗原市や, 震度6強だ った仙台市で得られた周期 1~2 秒の波の強さは、約30 万棟が全半壊した阪神大震災の時に比べ 2~3 割程度の強 さであった.今回の地震で強かった周期1秒以下の地震 波が強いと、室内の物は揺れるが建物には影響が少ない とされている.しかし、液状化による被害が大きかった のは、マグニチュードの大きい地震特有の長く大きな揺 れにより, 液状化の発生範囲が拡大したことが原因と思 われる. 観測では、300 秒近く揺れが続いた記録が残っ ている.図6に浦安市で観測された地震波を示す.最大 加速度は 157gal, 地震動継続時間は約5分間であり, 長 く揺れたことが確認できる.



2011/03/11-14:46 38.0N 142.9E 24km H9.0(CHB008)



写真 9 抜け上がった大型ショッピングセンター (入船地区)

写真9の入船地区にある大型ショッピングセンターは, サンドコンパクションパイル(SCP)工法による改良を行 っており,周辺道路で噴砂跡は見られたものの,敷地内 に生じた段差はわずかであった.それに対して,明海地 区にある大型ショッピングセンターは杭による補強を行 っており,建物の被害はほとんどないが,周辺地盤に液 状化による沈下が生じているため大きな段差が生じてい る.液状化による地盤の沈下に対しては,SCP工法によ る地盤改良のほうが被害が少ない結果となった.

舞浜の東京ディズニーランドでは、周辺や駐車場の一 部で液状化現象が確認されているが、こちらも敷地内に SCP 工法による改良が行われており、テーマパーク内の 建物に被害はなかった様子である。駐車場に関しては、 地盤改良が行われていないということである.

住宅地では今川,弁天,富岡,美浜地区の被害が大き く,傾斜した家屋も見られた.今川地区では図7のよう に,宅地中央部に向かって沈下している状況が多く見ら れた。しかし,弁天地区内の公団団地内では被害が少な い様子であった。おそらくは建設時に,何らかの地盤改 良を行っているものと思われる.



図 7 建物傾斜状況

第2期埋立地では,前述した千鳥地区以外では,高洲, 明海,日の出で液状化の跡を確認したが,建物に対する 被害はそれほど大きくない印象であった.抜け上がりが 多く見られたため,何らかの地盤改良もしくは補強が行 われていると考えられる.

## 5. 浦安市の地盤

#### 5.1 浦安市の地形

浦安市は、千葉県の最西端の地域であり、この地域は 東京(江戸)に隣接する地域として江戸期からその影響を 強く受け、産業の興隆があり、明治以降の近代化の中で も千葉県の産業、文化の先進地となってきた. 関東大震 災(1923年)以降は都市化の進行がみられるようになり、 農業上の変化もみられた。1950年以降、急激な人口増加 が続くようになり、急速かつ大規模な地域変容を遂げて きた. この地域は農業地域であり、住宅地域であり、工 業地域であり、流通やレジャーの拠点としてきわめて多 様な土地利用が進行している.

これらの土地利用に応ずるため海面が埋め立てられ, 切土・盛土が行われ,埋立面積は今や広大なものになっ ている。河川は改修され放水路もつくられた.こうした 地形の性質,自然の特性を無視した土地利用は災害を招 く可能性がある.広域地盤沈下を起こしたのもこの地域 であり,多くの水害を経験しているのもこの地域である.

江戸川放水路以西の埋立地は,地形分類上「浦安埋立 地」に分類される.この地区は江戸川河口に隣接し,埋立 地周辺の土砂は埋立材料に適さないシルト質のものが多 く,他地区からの良質土砂を多量に搬入して造成された。 富岡地区では昭和45年以来すでに70cmを超える沈下が あるが,これは埋立てに伴う沈下と,厚い沖積層に由来 するものと思われる.



図 8 浦安市地形区分図

図8に浦安市の地形分類図を示す.地域としては浦安 低地もしくは浦安埋立地に属している.主な地形区分は 埋立地であるが,それ以外にも盛土造成された人工地形 が多く見受けられる.

#### 5.2 浦安市の地盤データ

液状化の被害が大きい,今川地区で実施したスウェー デン式サウンディング(SWS)試験結果を図9に示す.建 物建築前の2010年9月,震災後の2011年4月5日に, ほぼ同地点において試験を行った結果である。震災前の データを青色で,震災後のデータを赤色で表している. SWS 試験とは, 原位置における貫入抵抗(地盤の硬軟および締り具合)や土層構成などを調べ, 支持力を推定するためのデータを得るために行う試験で, 戸建住宅用の地 盤調査として広く用いられている. 先端にスクリューポ イントを取り付けたロッドの頭部に, 1kN までの荷重を 加えて貫入させ, 貫入が止まったらハンドルに回転を加 えて貫入させていく. 荷重に対する貫入量と, 回転数と 貫入量を計測する試験である.

表層部から深度 2m 程度まで、やや締まった層が確認 された.これは、埋立造成時の埋土と考えられる.埋土 以深は軟弱層が連続しており、深度 5.5m までは荷重を加 えただけで、ロッドが貫入していく状態であった.おそ らくはこの軟弱層が液状化したものと考えられる.深度 10m 程度に達すると、堅固な層が現れ貫入不能となった。

比較すると,液状化前後で明確な差は見られなかった. なお,SWS 試験孔を利用して交流式比抵抗水位計で地下 水位を測定したところ,地表面から 1.10m と非常に浅い 位置にあった.



次に、同宅地内で行った三成分コーン(CPT)試験結果を示す.この試験は、センサー付きのコーンを地盤に貫入 させ、先端抵抗値、周面摩擦、間隙水圧を測定する.そ の値を用い、各種地盤定数および土質分類指数 Icなどの 算出を行う試験である.直接ではないが土質が判別でき、 SWS 試験に比べ精度の高い調査結果が得られるという メリットがある.また,計測を1cmごとに行うため,連 続してデータを得ることができ,薄い層を判別すること ができる.







図 11 CPT 試験結果から算出した各種地盤定数

図 10 に CPT 試験の測定データ,図 11 に算出した各種 地盤定数を示す.先端抵抗値は SWS 試験結果と同様,深 度 2.0m までやや締まった層が見られ,深度 5.5m までは 軟弱層が見られる. 深度 10.1m で,堅固層に当たり試験 終了となった. 土質判断の一つの目安となる,周面摩擦 は軟弱層では非常に小さくなっている. そのため,土質 分類指数からの土質判定は,砂質シルトという結果にな った. その下の層はシルト質砂~砂と判定されている.

震災後に標準貫入試験を行った結果を図 10 に示す. 住 所は今川 1 丁目で,震災後に液状化現象による噴砂が発 生した宅地である. 噴砂に伴い住宅が傾斜しており,室 内レベルを測定すると,建物の最大レベル差が 170mm, 傾斜は 12/1000 を超えていた. 図 12 のボーリングデータ に示されるとおり,他の地盤調査と同様 10m 付近に中間 層が見られるが,それ以深は軟弱層が続く. おそらく, 液状化が発生したのは深度 7.8m までに存在するシルト

質細砂と思われる。そこで、各層に対して粒度試験また は細粒分含有率試験を実施し、事前に付近で採取した噴 砂と比較することとした.粒度試験結果一覧表を表2に、 細粒分含有率試験結果を一覧表を表3に示す.

試料番号		噴砂 試料	P1	P2	Р3	P4
採取深度(GL m)		-	-1.15 ~-1.45	-3.15 ~-3.45	-4.15 ~-4.60	-5.15 ~-5.45
地層名		-	Yu-c	Yu-s	Yu-c	Yu-s
土質区分		シルト質 砂	砂質 シルト	シルト質 細砂	砂質 シルト	シルト質 細砂
一般	土粒子の密度 <sub> ρ<sub>s</sub> g/cm<sup>3</sup></sub>	2.695	2.685	2.685	2.690	2.742
	自然含水比Wn %	20.8	40.2	38.7	47.7	36.9
粒度	傑分(2~/5mm)%	0.6	0	0.1	0	0.5
	砂分(75µm~2mm)%	65.7	38.6	77.5	37.9	76.8
	シルト分(5~75µm)%	23.8	53.4	15.9	43	16.2
	粘土分(5µm未満)%	9.9	8	6.5	19.1	6.5
分類記号		SF	CsS	SF	CsS	SF

表 2 粒度試験結果一覧

## 表 3 細粒分含有率試験結果一覧表

試料番号	噴砂 試料	P1	P2	P3	P4
採取深度(GL m)	-	~-1.15 ~-1.45	-3.15 ~-3.45	-4.15 ~-4.60	-5.15 ~-5.45
地層石		Yu-c	Yu-s	Yu-c	Yu-s
土質区分	ンルト質 砂	砂質 シルト	シルト質 細砂	砂質 シルト	シルト質 細砂
粒 砂分(75µm以上)%	66.3	38.6	77.6	37.9	77.3
度 細粒方(75µm以下)%	33.7	61.4	22.4	62.1	22.7

試料番号		P5	P6	P7	P8	P9	P10
採取深度(GL m)		~-8.45	~-10.15 ~-10.45	~-11.15 ~-11.45	~-12.15	~-14.15 ~-15.45 ~	-18.15 -18.60
地層名		Yu-s	Yu-s	Yu-c	Yu-s	Yl-c	Yl-c
土質区分		シルト質 細砂	シルト 混じり 細砂	砂質 シルト	シルト質 細砂	砂質 シルト	粘土質 シルト
粒	砂分(75µm以上)%	54.3	91.8	47.9	56	22.9	1.7
度	細粒分(75µm以下)%	45.7	8.2	52.1	44	77.1	98.3

噴砂は土質区分では「シルト質砂」となっているため, 土質区分で近いのは試料番号 P2(深度 3.15~3.45m)もしく は P4(-5.15~-5.45m)である.しかし,地下水とともに地上 に上がってくるまでの間に,礫や砂などの粒径が大きい 粒子は沈みやすく,シルトや粘土などの比表面積が大き い粒子は運ばれやすい分級作用を受けた可能性が高い. よって,噴砂の粘性分 10%未満と少なくなったのは,水 と一緒に流され,噴砂は細粒分が多くなったと考えられ る. 十勝沖地震で生じた埋立地の液状化でも、シルト分 を多く含む噴砂が採取されており、この傾向は埋立地の 液状化で生じた噴砂の特徴とされている。これについて は、今後検討を続けていきたい.

図 12 のボーリングデータを基に、液状化判定計算を行った結果を図 13 に示す.計算に使用したソフトは中央開発社製「CKC-Liq」,用いた設定条件は、今回の地震のデータから設定マグニチュード9,計測された最大水平加速度が 157gal のため、160gal として「建築基礎構造設計指針」に基づき計算した.計算結果は PL 値は 7.90 であり、[液状化危険度が高い]となった.液状化現象に伴う噴砂が発生し、液状化前後で粒度分布の変化や、相対密度に変化が起こるなど地盤の状態が変わっている可能性が高いことから、実際の危険度とは必ずしも一致しないと考えられる.液状化した地盤が再び液状化可能性があるということが指摘されていることから、何かしらの対

策を取っておくことが望ましい.液状化前の計算は行っ ていないが,図7のSWS試験データの比較では,液状化 後の方がやや締まっている傾向にあることから,液状化 前の危険度が現在より高かったと考えられる.また,現 在の液状化判定計算が,決して安全側ではないことに留 意して地盤にあった基礎の選定をする必要がある.

週春件名:浦安市今川1丁月 週春時期:平成23年5月16日~23年5月17日 <u> 乳口標高:0.08m</u> <u>乳内水位:0.95m</u> 準貫入試験 襩 檟 層深 柱 打擊回致 Ν 値 賀入量所 中心深度 質区 状 高 厚 度 尺 X m m m m 分 m 埋土(砂質シルト) 0.87 . 1 0.95 Ø s 砂雪シルト 2.38 2.72 1.85 3 3.3 シルト質細材 6 3.67 0.95 3.75 4 砂質シルト 4.38 4.72 1.05 4.80 5 5.30 6 6.31 シルト質細胞 7.30 Q र्त्त 8.30 シルト賞細砂 9.30 9.67 L10 б 10 30 シルト湿じり 0.72 1.05 0.00 Ĺu 砂質シルト 11.30 1.67 0.95 11.75 L 12 б シルト質細砂 . \_13 13.3 φ 14 14.30 φ 砂留シルト L15 15.30 ぁ 16 16.3 E17 17.31 L18 18.38 L19 19.38 \_20 粘土質シルト \_21 .22 22.38 45 23 23.35 \_24 24.34 25 25.38 ф 26 26.38 E 27 め湿じりシルト 27.36 L28 28.35 29 29.32 粘土質シルト 9 72 E30 30.31 シルト賞砂 .31 it 31.31 32 有機質シルト 323 ¢ .33 33.31 シルト \_34 34 30 粘土質シルト L35 5 22 ক

図 12 今川 1 丁目ボーリングデータ



図 13 今川 1 丁目液状化判定結果

## 6.まとめ

今回、東日本大震災による浦安市の現地調査を行った が、場所によって液状化の被害の程度が異なり、明らか に埋立地に集中していた.これらは、軟弱層厚や土質、 地下水位などの地質構造との関係が深いと考えられる. また、液状化対策の地盤改良工事が行われていた、ディ ズニーランドの敷地内などの被害はほとんど確認できな かった.

液状化などの地盤リスクに備えるためには、地盤の硬 軟、締まり具合だけでなく、土質と地下水位の情報は必 要である.また、液状化の対策は今後の地盤災害を防ぐ ためにも必要不可欠となるであろう.なお、本研究室(藤 井研究室)では、液状化判定に欠かせない地下水位を測定 するため、スウェーデン式サウンディング試験孔を利用 した、簡便で精度の高い地下水位測定法の研究開発や、 電気比抵抗法による土質の判別法の研究を進めている.

今回の調査で,液状化の判定に用いるパラメーターの 標準値が,決して安全側でないことが検証された。また, 適切な地盤改良工事を行ったところでは,家屋の液状化 被害が起こらなかったり,被害が小さいということがわ かった.って,次のステップでは,戸建住宅を対象とし た地盤改良工法による液状化被害程度の違いについて検 証したいと考えている.

## 参考文献

- 1) 浦安市ホームページ:埋立地の土地利用変遷/浦安市, 2011年4月.
- 2) 境有紀:発生した地震動の性質-2011 年東北地方太平 洋沖地震(http://www.kz.tsukuba.ac.jp/~sakai/113g.htm)
- 3) 防災科学技術研究所:強震ネットワーク Kyoshin Net (http://www.k-net.bosai.go.jp/k-net/quake/)
- 4) 森伸一郎ら: 埋立地の液状化で生じた噴砂の諸特性, 土と基礎 No.32(2), pp.17-22